

TESTES DE CONFORTO TÉRMICO APLICADOS A UMA MALHA MULTIFUNCIONAL DESENVOLVIDA COM NOVOS MATERIAIS

S. F. C. F. Teixeira ^{1*}, C.P. Leão ^{1†}, P. Arezes ^{1‡}, M. M. Neves ²

1-Departamento de Produção e Sistemas, Escola de Engenharia da Universidade do Minho, Guimarães, Portugal

email: {st,tcpl,parezes}@dps.uminho.pt

2- Departamento de Engenharia Têxtil, Escola de Engenharia da Universidade do Minho, Guimarães, Portugal, email: mneves@det.uminho.pt

Palavras-chave: conforto termo-fisiológico, modelos numéricos, novos materiais têxteis, interface, transferência de calor e massa

Resumo

Os produtores europeus, os engenheiros têxteis e os designers devem, no desenvolvimento de novas peças de vestuário, terem em consideração as novas exigências dos consumidores em relação ao conforto.

Uma grande variedade de áreas de investigação foram, nos últimos tempos, criadas e desenvolvidas permitindo atingir as exigências relacionadas com o conforto, nomeadamente, considerando os aspectos funcionais e estéticos, entre outros. O conforto térmico humano é, de certa forma, um dos componentes mais importantes a considerar, podendo ser definido como a principal troca de calor e massa e calor do corpo humano com o meio ambiente, através da roupa.

Um dos objectivos deste trabalho foi, através do trabalho de uma equipa multidisciplinar, desenvolver uma malha funcional de forma a permitir o conforto termo-fisiológico a quem a utilizar. O presente trabalho permite assim investigar as várias etapas relacionadas com o estudo do conforto no desenvolvimento de novas peças de vestuário: o desenvolvimento de novas malhas, a execução de testes num manequim térmico; a simulação numérica do corpo humano com e sem roupa e o desenvolvimento de testes subjectivos de conforto térmico.

A nova malha produzida foi caracterizada e testada em laboratório, em termos de quantidade de vapor de água e da permeabilidade ao ar e outros parâmetros físicos. A malha produzida foi aplicada como forro de botas de caminhada e para o fabrico de t-shirts. Os protótipos das botas de caminhada foram avaliados de forma subjectiva através de questionários. Um manequim térmico foi utilizado para medir o isolamento térmico das t-shirts e a distribuição de temperatura na pele.

Juntamente com este trabalho experimental, um modelo de termo regulação do corpo humano foi desenvolvido para validar os dados experimentais obtidos. Alguns dos resultados são apresentados e discutidos.

1. Introdução

O conforto é um parâmetro muito importante no desenvolvimento de peças de vestuário. No entanto, e apesar de ser facilmente percebido pelos utilizadores finais, compreender como é desenvolvido a sua percepção torna-se uma tarefa complexa [1]. Diferentes aspectos, tais como, os funcionais (relacionados ao conforto termofisiológico e sensorial) e os estéticos (relacionada com o conforto psicológico), devem ser considerados pelos designers e engenheiros têxteis.

Avaliar um único aspecto do conforto, tal como o conforto térmico, pode ser uma tarefa muito exigente [2], não esquecendo que aspectos complementares também podem afectar a decisão do cliente.

O conforto térmico pode ser definido como a principal troca de calor e de massa entre o corpo humano e o meio ambiente, através do vestuário, e está relacionada com a forma que o vestuário ajuda a manter o equilíbrio térmico do corpo humano [3]. O conforto térmico pode ser analisado de duas maneiras que, embora distintas se complementam, a saber: avaliação objectiva de todos os parâmetros térmicos [4, 5] e a avaliação subjectiva do conforto térmico percebido pelos potenciais utilizadores [6, 7].

Este artigo descreve o trabalho levado a cabo por uma equipa multidisciplinar de investigadores e que consistiu em analisar as diferentes componentes relacionadas com o tema do conforto térmico. Após o desenvolvimento de novas malhas [8], estas foram testadas em laboratório. As malhas funcionais desenvolvidas foram aplicadas como revestimento no interior (forro) de botas de caminhada fabricadas numa fábrica de sapatos da região norte de Portugal. A avaliação subjectiva do conforto térmico destes protótipos foi realizada no Laboratório de Engenharia Humana, Escola de Engenharia da Universidade do Minho, em condições ambientais controladas e simulando o aquecimento, a tensão e as etapas de arrefecimento [9].

As malhas funcionais também foram aplicadas para fabricar t-shirts. Alguns testes de conforto térmico foram realizados com um manequim térmico a fim de medir o isolamento térmico. Este trabalho experimental foi complementado com a simulação numérica do corpo humano.

2. Trabalho Experimental Desenvolvido

O primeiro passo no desenvolvimento da malha funcional, foi a escolha das matérias-primas a utilizar na sua produção. O desempenho da malha foi obtido através de uma malha de estrutura de dupla face em combinação com uma correcta selecção dos materiais utilizados. Desta forma, uma fibra hidrófila foi colocada numa face e uma fibra hidrofóba na outra face. Algodão (CO), milho (ácido poliláctico - PLA), soja (SPF) e bambu (BAM), foram seleccionados como fibras hidrófilas; polipropileno (PP) e poliéster (PES) foram seleccionados como fibras hidrofóbas.

As três novas fibras hidrófilas, figura 1, têm as seguintes principais propriedades:

- Milho (PLA) - favorece a regulação natural da temperatura da pele através da evaporação da humidade,

capacidade de secagem rápida, sendo também hipoalergénico;

- Soja (SPF) - capacidade de boa ventilação, bom isolamento térmico, boa capacidade de evaporação da humidade, anti-bacteriana;

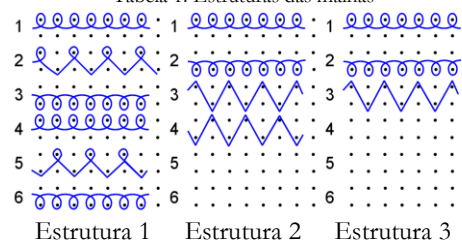


Figura 1: Milho (PLA), soja (SPF) e bambu (BAM)

- Bambu (BAM) - características naturais de estimulação do fluxo sanguíneo e boa absorção da humidade.

Foram desenvolvidas três estruturas de malha de dupla-face (Tabela 1), com oito diferentes combinações de matérias-primas, num total de 24 amostras. Os oito pares da combinação hidrófila/hidrofóba de fibras de forma a produzir as 24 amostras no tear, foram: PLA/PP, PLA/PES, SPF/PP, SPF/PES, BAM/PP, BAM/PES, CO/PP e CO/PES.

Tabela 1: Estruturas das malhas



Após a produção das 24 amostras, cada uma foi caracterizada e algumas das propriedades termofisiológicas de conforto foram avaliadas, a saber: permeabilidade ao ar, permeabilidade ao vapor de água, resistência térmica e capilaridade.

A permeabilidade ao ar das diferentes amostras foi determinada com o permeabilímetro TEXTTEST FX 3300, segundo a norma EN ISO 9 237 a uma pressão de 100 Pa.

Da análise dos resultados observa-se que as malhas produzidas com a estrutura 1 apresentam valores mais elevados de permeabilidade ao ar, sendo a combinação PLA/PES que apresenta melhor resultado (figura 2).

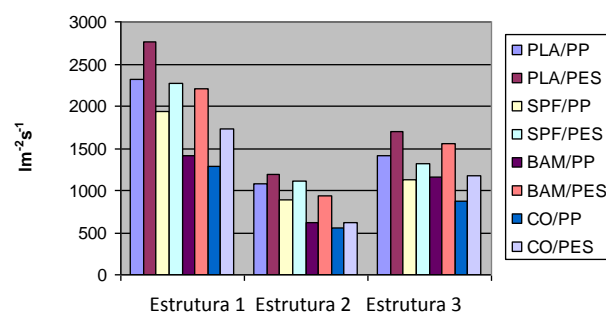


Figura 2: Permeabilidade ao ar

A estrutura 1 também se mostrou melhor em termos de permeabilidade ao vapor de água. Os ensaios foram

realizados no permeabilímetro Permetest de acordo com a norma ISO11092.

As combinações PLA/PES, SPF/PES e BAM/PES apresentam maior permeabilidade ao vapor de água

Com base nesses resultados, outros testes foram realizados com as diferentes combinações de malha dupla na estrutura 1. A massa de água absorvida (posições horizontal e vertical) em função do tempo foi medida e os resultados apresentados na figura 3. As malhas produzidas com fibras PLA apresentam melhor desempenho.

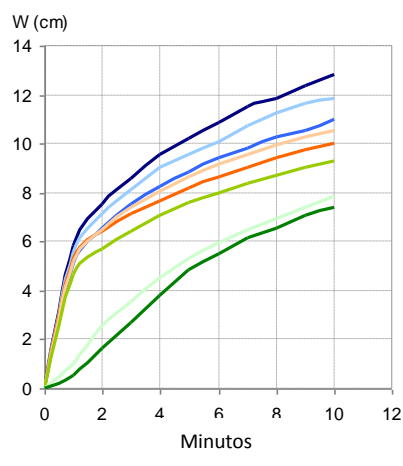
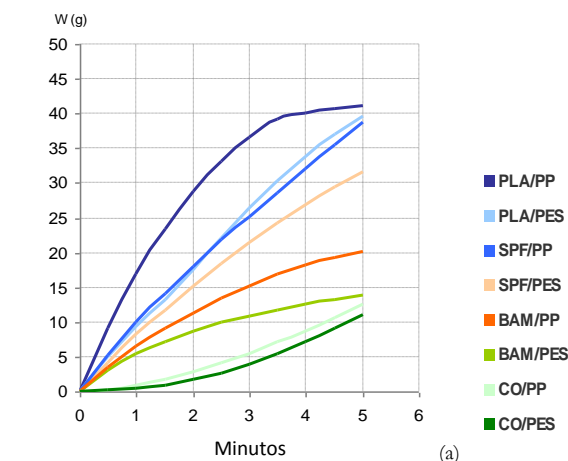


Figura 3: Resultados da massa de água absorvida (a) posições horizontal e (b) vertical) em função do tempo, para a Estrutura 1

Após a avaliação das propriedades das três estruturas de malha desenvolvidas no início do projecto, concluiu-se que a estrutura 1 era a que melhor se adequava à utilização como forro para as finalidades pretendidas.

De entre as matérias-primas testadas, pôde concluir-se que a combinação PLA/PES se mostra mais adequada a um clima frio em função do seu isolamento térmico, enquanto a estrutura 1 em bambu seria a escolhida para um clima quente pois em oposição apresenta um baixo valor de isolamento térmico e boa capilaridade. Foi escolhida a combinação BAM/PP.

Com estas malhas foram então produzidos 20 pares de botas (10 pares com cada malha) em diferentes números. Estas botas foram utilizadas em testes de avaliação subjectiva do conforto, para os quais foi desenvolvido um protocolo de ensaio e um questionário para a avaliação por parte dos utilizadores.

Numa segunda fase deste trabalho, as combinações de PLA/PP e BAM/PES, na estrutura 1, foram utilizadas para fabricar t-shirts.

O isolamento térmico total foi determinado com um manequim térmico de acordo com a norma ISO 15831 usando o *serial model*. Este manequim encontrava-se vestido com a t-shirt a ensaiar uma calça de fato de treino e meias. Todos os testes foram realizados no estado estacionário.



Figura 4: Manequim térmico usado para determinar o isolamento térmico total

A figura 5 apresenta os resultados experimentais para o isolamento térmico para as diferentes partes abrangidas pela t-shirt com a malha produzida em estudo. Uma t-shirt feita de algodão, CO, também foi testada. A malha PLA/PP, produzida com a estrutura 1, apresenta um valor mais elevado de isolamento térmico, seguida da malha BAM/PES.

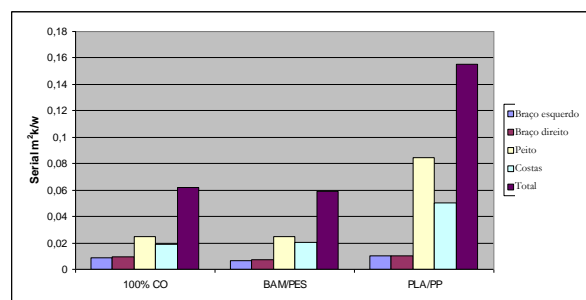


Figura 5: Resultados obtidos para o isolamento térmico

3. Trabalho Numérico Desenvolvido

A simulação computacional do sistema corpo humano-roupa-meio ambiente também pode ser utilizada de uma forma eficaz para estudar os problemas de conforto térmico [10, 11]. O modelo de conforto térmico humano, apresentado por Imre [12], tem sido utilizado para simular os resultados experimentais obtidos através do manequim térmico, a fim de validar os resultados da temperatura na pele.

3.1. Equações matemáticas

O modelo numérico utilizado neste trabalho, é uma simplificação do modelo de regulação térmica do corpo humano-roupa-meio ambiente de Imre [12].

O corpo humano é dividido em 16 partes distintas (figura 6): (1) par pulmões-coração, (2) tronco, (3) parte inferior do tronco, (4) antebraço esquerdo, (5) antebraço direito, (6) braço esquerdo, (7) braço direito, (8) mão esquerda, (9) mão direita, (10) coxa esquerda, (11) coxa direita, (12) perna esquerda, (13) perna direita, (14) pé esquerdo, (15) pé direito e (16) cabeça. Os pulmões e o coração, é considerado como um sistema único, sendo todas as restantes partes divididas em três camadas: *shell*, *core* e pele.

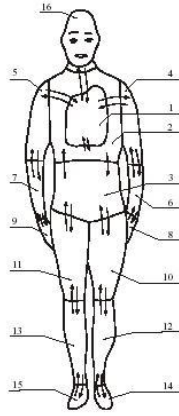


Figura 6: Corpo humano dividido em 16 partes distintas, de acordo com [12]

Cada camada é isotérmica e dentro de cada parte as trocas são entre o *core* e a *shell*, e entre esta e a pele. A camada de pele, em cada uma das partes consideradas, pode ser coberta por roupas ou deixada a descoberto. Quando o corpo está a descoberto, as trocas de calor com o ar ambiente são por convecção e por radiação. Quando o corpo está coberto por roupas, as trocas de calor da pele com a primeira camada de roupa e as trocas com a última camada são feitas por convecção e radiação com o ar.

Considerando o caso experimental em estudo, com as mãos, os braços e a cabeça a descoberto, o modelo inclui setenta equações diferenciais ordinárias de primeira ordem ao longo do tempo.

A equação de balanço de calor para a parte (1) do corpo humano (pulmões-coração) é:

$$\frac{dT_{11}}{dt} = \frac{1}{C_{11}} * \sum_{i=2}^{16} [\dot{C}_{1i} * T_{1i} + \dot{C}_{2i} * T_{2i}] - \frac{T_{11}}{C_{11}} * \sum_{i=2}^{16} [\dot{C}_{1i} + \dot{C}_{2i}] + \frac{\dot{H}_M}{C_{11}} - \frac{\dot{H}_R}{C_{11}} \quad (1)$$

Os dois primeiros termos da equação 1, estão relacionados com a troca de calor do sangue com o *core* e a *shell*, em todas as 15 partes do corpo. O terceiro termo está relacionado com a troca de calor devido ao metabolismo e o último termo relacionado com a perda de calor devido à respiração.

A equação para a primeira camada, o *core*, para cada parte i do corpo humano ($i=2, \dots, 16$) é:

$$\frac{dT_{1i}}{dt} = \frac{\dot{C}_{1i}}{C_{1i}} * (T_{11} - T_{1i}) + \frac{K_{1i}}{C_{1i}} * (T_{2i} - T_{1i}) + \frac{\dot{H}_{M_{1i}}}{C_{1i}} \quad (2)$$

O primeiro termo da equação 2, representa a troca de calor existente entre a fonte de calor parte (1), pulmões-coração, e o *core*. O segundo termo representa a troca de calor por condução entre a *shell* e o *core*. O último termo representa o calor metabólico produzido no *core* de cada parte i do corpo.

A equação para a segunda camada, a *shell*, para a i parte do corpo humano ($i=2, \dots, 16$) é:

$$\frac{dT_{2i}}{dt} = \frac{\dot{C}_{2i}}{C_{2i}} * T_{11} - T_{2i} + \frac{K_{1i}}{C_{2i}} * (T_{1i} - T_{2i}) + \frac{K_{2i}}{C_{2i}} * T_{3i} - T_{2i} + \frac{\dot{H}_{M_{2i}}}{C_{2i}} \quad (3)$$

O primeiro termo da equação 3, corresponde à troca de calor entre a fonte de calor parte (1) (pulmões-coração) e a *shell*. O segundo termo descreve a transferência de calor por condução entre o *core* e a *shell*. O terceiro termo representa a transferência de calor entre a pele e a *shell*. O último termo representa o metabolismo na *shell*.

As equações para a terceira camada da pele, nas partes a descoberto do corpo são:

$$\frac{dT_{3i}}{dt} = \frac{K_{2i}}{C_{3i}} * T_{2i} - T_{3i} + \frac{K_{rad,i}}{C_{3i}} * T_r - T_{3i} + \frac{K_{conv,i}}{C_{3i}} * T_a - T_{3i} \quad (4)$$

A equação 4 representa os termos de transferência de calor por condução a partir da *shell* para a pele, por radiação entre a pele e o meio ambiente e, por convecção entre a pele e o meio ambiente, respectivamente.

As equações para a terceira camada da pele, para as partes cobertas do corpo humana é:

$$\frac{dT_{3i}}{dt} = \frac{K_{23i}}{C_{3i}} * T_{2i} - T_{3i} + \frac{K_{34i}}{C_{3i}} * T_{4i} - T_{3i} \quad (5)$$

O primeiro termo da equação 5 representa a transferência de calor por condução a partir da *shell* para a pele e o segundo termo representa a condução entre a pele e a primeira camada de roupa ou o ar.

A equação de balanço de calor para a última camada de roupa (z) é:

$$\frac{dT_{zi}}{dt} = \frac{K_{z-1,i}}{C_{zi}} * T_{z-1,i} - T_{zi} + \frac{K_{rad,i}}{C_{zi}} * T_r - T_{zi} + \frac{K_{conv,i}}{C_{zi}} * T_a - T_{zi} \quad (6)$$

A equação 6 descreve a transferência de calor por condução da camada de roupa ($z-1$) para a última camada de roupa (z), a transferência de calor por radiação entre a última camada de roupa e o ambiente e as transferências de calor por convecção entre a última camada de roupa e o meio ambiente.

Um programa em Fortran foi desenvolvido para resolver numericamente as equações de balanço descritas (1-6). O método numérico utilizado foi o método de Runge-Kutta-Merson devido à sua simplicidade e robustez. Os valores de temperatura inicial em todas as partes do corpo e das camadas (*core*, *shell*, pele, ar e roupa) são apresentados e podem ser modificados pelo utilizador. O principal objectivo do programa é estimar a temperatura da pele, em função do tempo, para diferentes ambientes térmicos.

3.2. Plataforma de interface

Mesmo considerando só as equações de balanço de calor, um grande número de parâmetros físicos e numéricos são necessários bem como um banco de dados para armazenar não só todos os dados de entrada bem como os resultados finais. A fim de tornar este modelo de conforto térmico mais amigável para o utilizador, uma aplicação computacional foi desenvolvida, ConfTerral V2 [13, 14]. Esta interface desenvolvida permite armazenar todas estas informações e de uma forma simples e acessível, visualizar os resultados obtidos. A interface foi desenvolvido em *Java 1.4.x* e *Quadcap Embeddable Database* (QED) para o sistema de banco de dados. Desta forma, o ficheiro executável ocupa apenas 100 kB, em oposição com os 1 MB da versão anterior. O único requisito para executar o ConfTerral V2 é ter o Java Runtime Environment versão 1.4.x ou superior.

O menu principal foi desenvolvido para que o utilizador não necessite de alternar de janela durante a utilização do programa. Tudo que o utilizador precisa está disponível na janela principal. A janela principal (figura 7) é dividida em duas sub-janelas: do lado esquerdo, estão apresentados dois corpos humanos (um com as condições iniciais, antes da simulação, e o segundo com os resultados finais, após a simulação) e, do lado direito, o menu onde o utilizador pode seleccionar/definir as condições iniciais para a simulação e uma parte para a visualização dos valores numéricos dos resultados numéricos finais, cada valor numérico obedece a uma escala de cores que o corpo humano é preenchido. Estes valores numéricos dos valores finais das temperaturas podem ser revelados após a selecção da parte do corpo humano com um simples *clikar* na parte do corpo pretendida pelo utilizador.

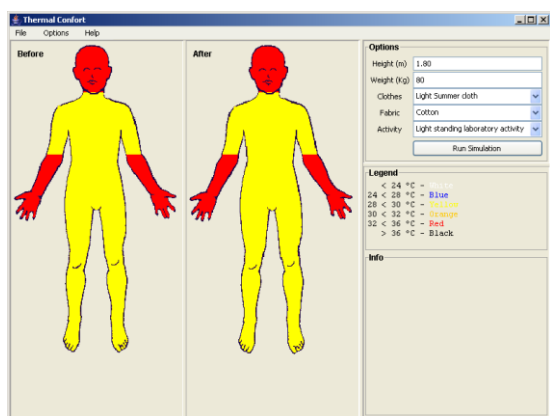


Figura 7: Janela principal da Interface ConfTerral V2

4. Discussão dos resultados obtidos

Os valores de temperaturas iniciais foram retirados do manequim, em modo de conforto, e após um período de estabilização. Estes foram os valores considerados na simulação numérica. No modo conforto, o utilizador especifica a temperatura corporal do manequim como constante e igual a 36,4 °C para todas as partes. As diferentes partes do corpo humano será aquecida de forma diferente e diferentes valores de temperaturas na pele são obtidas.

As simulações numéricas foram executadas tomando os valores de temperatura inicial, assumindo uma temperatura ambiente de 21 °C, roupas de verão leve e

uma actividade de repouso em pé. A base de dados, no momento, só contém os parâmetros para a fibra de algodão. Os resultados numéricos obtidos para a última camada (pele e roupa na parte coberta) podem ser visualizados na figura 8. Os valores numéricos para as temperaturas na parte superior do tronco para as cinco camadas (*core*, *shell*, pele, ar e roupa), também podem ser visualizados na figura.

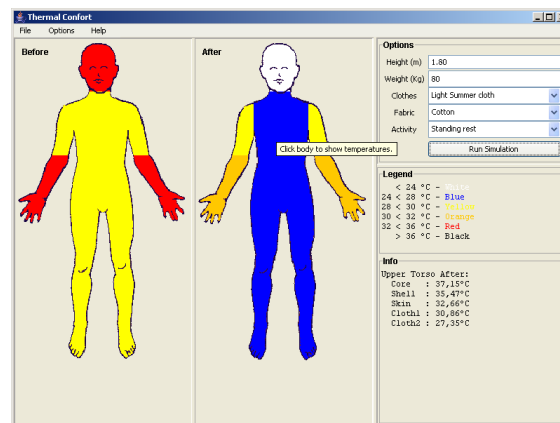


Figura 8: Resultados numéricos obtidos com o ConfTerral V2

Para obter os resultados experimentais em condições semelhantes, após um período de estabilização, no modo conforto, o manequim foi colocado no modo de bloqueio de energia. Desta forma, o calor aplicado no interior de cada parte do corpo é constante. Após uma hora, os resultados experimentais na pele foram registados e comparados com os resultados obtidos na simulação numérica (Tabela 2).

Tabela 2: Resultados experimentais (Exp) e numéricos (Sim) para a temperatura da pele nas várias camadas e partes do corpo humano

	Tronco Superior		Tronco Inferior		Antebraço Esq./Dir.	
Camada	Exp.	Sim.	Exp.	Sim.	Exp.	Sim.
Core		37.15		37.15		35.25
Shell		35.47		35.47		34.51
Pele	37.0	32.66	34.3	32.66	32.	32.99
Roupa1		30.86		30.86		32.44
Roupa2		27.35		27.35		28.61

	Braço Esq./Dir.		Mão Esq./Dir.	
Camada	Exp.	Sim.	Exp.	Sim.
Core		34.36		32.88
Shell		33.56		32.12
Pele	29.0	31.81	29.1	30.55
Roupa1	---	---	---	---
Roupa2	---	---	---	---

	Coxa Esq./Dir.		Perna Esq./Dir.		Pés Esq./Dir.	
Camada	Exp.	Sim.	Exp.	Sim.	Exp.	Sim.
Core		35.76		35.74		35.13
Shell		34.6		34.59		34.34
Pele	33.0	32.39	30.0	32.39	26.9	32.69
Roupa1		31.22		31.24		32.06
Roupa2		27.79		27.81		27.69

Embora a temperatura da pele sejam semelhantes para quase todas as partes do manequim, algumas discrepâncias foram obtidas, nomeadamente para a parte superior do tronco e para os pés. Convém salientar que, a partir dos resultados experimentais, só as temperaturas da pele estão disponíveis para serem utilizadas como valores iniciais para a simulação numérica. As temperaturas do *core* e da

shell foram extrapolados, bem como a temperatura da roupa e da camada de ar. Além disso, quando no manequim se alterna do modo de conforto para o modo *power lock*, valores diferentes de metabolismo (energia usada para aquecer as peças diferentes) foram registadas em especial para a parte superior do tronco e para os pés, onde foram observados os principais desvios.

5. Conclusões

Uma equipa multidisciplinar de investigadores, das áreas têxtil, ergonomia e de simulação numérica, tem vindo a desenvolver novas ferramentas para a análise de diferentes aspectos do conforto térmico. A avaliação do (des)conforto térmico no vestuário só é possível se for feita uma abordagem multidisciplinar.

Uma estrutura de malha de dupla face foi utilizada para otimizar o desempenho do vestuário. As malhas foram produzidas com diferentes matérias-primas, uma fibra hidrofílica colocada numa face e uma fibra hidrofóbica em na outra face. Estas malhas foram caracterizadas em laboratório e, com base nesses resultados, quatro combinações foram seleccionados: PLA/PES e BAM/PP, para o forro de botas de caminhada e PLA/PP e BAM/ES, para t-shirts.

Estes dois produtos finais (botas de caminhada e t-shirts) foram fabricados e avaliados através de testes de conforto quer objectivos, quer subjectivos. O conforto deve ser avaliado utilizando o máximo de dados objectivos disponíveis, mas deverá incluir também a opinião dos utilizadores finais, a avaliação subjectiva.

No presente estudo, um manequim térmico foi utilizado para determinar o isolamento térmico total da t-shirt. Os testes experimentais foram realizados em condições semelhantes e consideradas na simulação numérica. Algumas validações preliminares foram apresentadas; os resultados obtidos até ao momento, mostram que o modelo numérico pode ser usado para avaliar o conforto térmico.

O modelo numérico foi já modificado de forma a incluir os fenómenos de transferência de massa e está ser validado [15].

Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer o apoio financeiro do Centro de I&D Centro Algoritmi.

Referências

- [1] M. Neves, J. Cunha, "Total design of function oriented textile product", *5th International Istanbul Textile Conference*, Istanbul, Torquay, May 2005.
- [2] K. C. Parsons, "Human thermal environments. The effect of hot, moderate and cold environments on human health, comfort and performance", Second edition, ISBN: 0415237939, CRC press, 2003.
- [3] Y. Li, "The science of clothing comfort", *Textile Progress*, 31 (1/2) 2001, The Textile Institute, Manchester.
- [4] N. Pan, P. Gibson, "Thermal and moisture transport in fibrous materials", Woodhead Publishing Limited, Cambridge, 2006.
- [5] N. Ozdil, A. Marmarali, S.D. Kretschmar, "Effect of yarn properties on thermal comfort of knitted fabrics", *Int. Journal of Thermal Sciences*, 46, 2007, 1318-1322.
- [6] J.C. González, E. Alcántara, C. Bataller, A.C. García, "Physiological and Subjective Evaluation of Footwear: Thermal Response Over Time", *Proc. of the 5th Symp. on Footwear Biomechanics*, 2001, Zuerich/Switzerland, (Eds. E. Hennig, A. Stacoff), 40-41.
- [7] G. Havenith, R. Heus, "A test battery related to ergonomics of protective clothing", *Applied Ergonomics* 35, 2004, 3-20.
- [8] E.L. Correia, S.F.C.F. Teixeira, M.M. Neves, "Numerical and experimental studies in the development of new clothes materials", *Heat Transfer 2006 - Ninth International Conference on Advanced Computational Methods and Experimental Measurements in Heat and Mass Transfer*, New Forest, UK, 2006, 10pp.
- [9] P.M. Arezes, M.M. Neves, S.F.C.F. Teixeira, C.P. Leão, J.L. Cunha, "Thermal comfort of trekking boots: objective versus subjective evaluation", *2nd International Conference in Applied Human Factors and Ergonomics 2008*, Las Vegas, USA, 2008, 10pp.
- [10] H. Wu, J. Fan, "Study of heat and moisture transfer within multi-layer clothing assemblies consisting of different types of battings", *International Journal of Thermal Sciences* 47, 2008, 641-647.
- [11] N. Ghaddar, K. Ghali, B. Jones, "Integrated human-clothing system model for estimating the effect of walking on clothing insulation", *International Journal Thermal Sciences* 42, 2003, 605-619.
- [12] L. Imre, C.D. Horváth, A. Bitai, J. Barcza, "Numerical procedure for the identification of human thermal discomfort", in R.W. Lewis and P. Durbekati, *Numerical Methods in Thermal Problems*, UK: Pineridge Press limited, 1995, 991-997.
- [13] C.P. Leão, S.F.C.F. Teixeira, "CONFTErmAL – An Easy Way to Simulate the Human Thermal Comfort", *Proceedings of 16th LASTED International Conference on Applied Simulation and Modelling, ASM2007*, Palma de Mallorca, Spain, 2007, 251-255. ISBN: 978-88986-688-1.
- [14] M.M. Neves, J.L. Cunha, P.M. Arezes, C.P. Leão, S.F.C.F. Teixeira, P. Lobarinhas, J.C. Teixeira, "IN2TEC: A multidisciplinary research project involving researches, students and industry", #IMECE-14916, *Proceedings of ASME International Mechanical Engineering Congress and Exposition*, November 2006, Chicago, USA, 2006, 6 pp.. ISBN: 0-7918-3790-4.